AA

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2002年1月17日 (17.01.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/05464 A1

(51) 国際特許分類⁷: H04B 10/18, 10/02, G02F 1/01

(21) 国際出願番号: PCT/JP01/05763

(22) 国際出願日: 2001年7月3日 (03.07.2001)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2000-205458 2000年7月6日 (06.07.2000) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 矢野 隆 (YANO, Yutaka) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

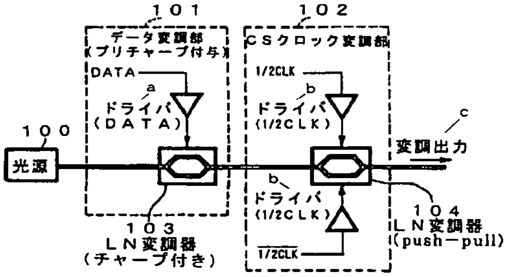
(74) 代理人: 丸山隆夫(MARUYAMA, Takao); 〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-38-23 SAMビル3階 丸山特許事務所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): US.

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL TRANSMITTER AND OPTICAL FIBER TRANSMISSION SYSTEM HAVING THE SAME

(54) 発明の名称: 光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システム



100...LIGHT SOURCE
101...DATA MODULATING SECTION (PRECHIRP IS GIVEN)
a...DRIVER (DATA)
103...LN MODULATOR (WITH CHIRP)
102...CS CLOCK MODULATING SECTION
b...DRIVER (1/2CLK)
c...MODULATED OUTPUT
104...LN MODULATOR (PUSH-PULL)

(57) Abstract: An optical transmitter of CS-RZ modulation for further increase the SPM-GVD resistance and an optical fiber transmission system having the same are disclosed. The optical transmitter comprises a carrier source, a data modulating section for intensity-modulating the carrier with a data signal, a clock modulating section for amplitude-modulating the carrier so that the phase of the carrier is inverted for every one-bit slot of the data signal. The optical transmitter is characterized in that the carrier is given a prechirp by the carrier source or the data modulating section.

(57) 要約:

ＳＰＭ－ＧＶＤ耐力をさらに増すためのＣＳ－ＲＺ変調方式の光送信装置光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システムを提供する。

搬送波源と、データ信号で前記搬送波を強度変調するデータ変調部と、前記データ信号の１ビットスロット毎に前記搬送波の位相が反転するように前記搬送波を振幅変調するクロック変調部と、を備える光送信装置において、前記搬送波源又は前記データ変調部で前記搬送波にプリチャープを付与することを特徴とする

(84) 指定国 *(広域)*: ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明細書

光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システム

技術分野

この発明は、光ファイバ伝送システム及びそれに用いられる光送信装置に関する。

従来技術

（ＳＰＭ－ＧＶＤ劣化）

今日の光ファイバ通信システムでは、信号光の強度にディジタル情報を載せ、光検出器で直接に強度を検出する強度変調－直接検波方式が一般的に用いられており、さらに波長多重を用いて容量の拡大が行われるに至っている。この伝送システムにおいては、光ファイバ中の波長分散（ＧＶＤ：Group Velocity Dispersion）と、光ファイバ中で生じる非線形光学効果の一つの自己位相変調効果（ＳＰＭ：Self Phase Modulation）が組み合わさって引き起こす、ＳＰＭ－ＧＶＤ効果と呼ばれる現象による波形歪みが伝送品質劣化の主要因の一つである。ＳＰＭ－ＧＶＤ効果をはじめとする非線形光学効果による劣化は、光ファイバ中の信号光パワーが高いほど生じやすい。

（光ＳＮＲ劣化と、中継器出力パワーのトレードオフ）

もう一つの主劣化要因は、光ＳＮＲ劣化と呼ばれる、光増幅中継に伴う光ノイズの蓄積である。この劣化現象は、光増幅中継器への入力パワーが低いほどひどくなる。従って、中継器間隔のロスが定数であるとすると、中継器の出力パワーには最適値が存在することになる。符号誤り率（ＢＥＲ）で伝送システムの性能を表現するとすれば、中継器出力パワーが過大であると非線形光学効果によってＢＥＲが悪化し、過小であると光ＳＮＲ劣化によってＢＥＲが悪化する。このように中継器出力パワーには、傾向が反対な二つの制約要因があるため、そのトレードオフ関係を如何に緩和し、許容しうる中継区間ロスを如何に増やすか、が技

術課題となっている。

（チャープ）

光通信分野では、搬送波（光）の強度変化に応じた位相変調をチャープと呼ぶ。ＳＰＭもチャープであり、その方向は、光ファイバを初めとするほとんどの媒質ではｋｅｒｒ係数n_2＞０、つまり瞬時強度が大きいほど搬送波の位相が遅れる方向である。そこで以下ではＳＰＭの位相シフト方向を基準にして、ＳＰＭと同方向か、逆方向か、でチャープの向きを表すことにする。送信器において“予め”付与するチャープのことをプリチャープと呼ぶ。

光伝送技術の発展の過程において、プリチャープは当初、分散補償技術の一つとして研究された。（例えばSaito et al., ” Prechirp Technique for Dispersion Compensation for a High-Speed Long-Span Transmission”, Photon. Technol. Lett., p.74, 1991）。当時は優れた分散補償デバイスがなかったため、波長分散（ＧＶＤ）の蓄積による波形歪みに対抗する手段の一つとして、プリチャープが検討されたのであるが、その後の、分散補償ファイバなどの優れた分散補償デバイスの登場で、プリチャープによる分散補償は用いられなくなった。

（現実のファイバ分散値とＳＰＭ－ＧＶＤ効果）

ＳＰＭ－ＧＶＤ劣化の程度は、光ファイバ伝送路の持つ波長分散値によって違いがある。光ソリトン伝送のメカニズムとして良く知られているように、光パルスが異常分散中を伝送中にＳＰＭチャープが生じるとパルスが圧縮される。圧縮によってパルス形状が鋭くなると、さらにＳＰＭが生じやすくなる。反対に正常分散の下で伝搬するとＳＰＭチャープはパルスを広げてならすので、ＳＰＭの発生が抑えられる。従って、（ソリトン伝送のようにＳＰＭによるパルス圧縮効果を積極的に使うのでない限りは、）正常分散を持つ伝送路の方がＳＰＭ－ＧＶＤ劣化を生じにくい。

ところで、近年急速に商用導入が進んでいる波長多重による大容量化技術（ＷＤＭ；Wavelength Division Multiplexing）では、光ファイバの非線形現象

を通じて起こるチャネル間のクロストークが問題となっている。このクロストークを抑える有効な手法として、光ファイバの分散値を大きくして、波長チャネル間の伝搬速度に大きな差を持たせる方法が一般に用いられている。

現在光伝送システムで最もよく利用されている１．５５μm帯付近において、シリカ（SiO_2）ガラスファイバは異常分散（短波長ほど伝搬速度が速い）の材料分散を持つ。その値は＋１７ｐｓ／ｎｍ／ｋｍ程度であり、この材料分散特性をそのまま保持した光ファイバはＳＭＦと呼ばれる（ITU-T勧告G.652）。これに対して分散シフトファイバと呼ばれる、構造分散で大きな正常分散を作り出して材料分散を打ち消した光ファイバも実用化されている。しかし打ち消すのがせいぜいであり、全体として大きな正常分散値を持たせるのは技術的に困難である。また構造分散で大きな正常分散を作り出そうとすると、光ファイバの断面積が小さくなり、非線形光学効果が起きやすくなってしまうという問題も浮上する。

以上まとめると、ＳＰＭ－ＧＶＤ劣化抑圧の観点からは、伝送路ファイバの分散値は正常分散が望ましいが、一方、波長多重に必要な大きな分散値を備える光ファイバは異常分散ファイバであるＳＭＦに限られるため、ＳＰＭ－ＧＶＤ劣化に対する対策がより重要になる。

（二光束干渉計型光変調器の動作）

本発明の実施形態で多用するＬＮ変調器について説明する。この変調器は図１０にあるような二光束干渉計（Mach-Zehnder干渉計）の構造をしている。各アームの位相変調部で駆動信号に応じた位相シフトを受けた二つの光波が干渉し、出力信号光となる。

その様子をフェーザーで表したものが図１１である。原点（図中央）からの距離が振幅を表し、位相遷移量は、実軸（ｒｅａｌ）の正の方向をゼロとして、そこからの回転量で表している。位相遅延は時計回り方向としている。ａｒｍ１（ｔ）とａｒｍ２（ｔ）の光が細い矢印で、それらの合成ベクトルである干渉出力光Ｓ（ｔ）が太い矢印で描かれている。状態の遷移をｔ１→ｔ２→ｔ３というように辿りながら説明する。出発点であるｔ１の時点ではａｒｍ１（ｔ１）とａｒｍ２（ｔ１）のベクトルは揃い、合成ベクトルＳ（ｔ１）は最大、つまり変調器

全体としてはパワー透過率最大の状態となっている。

図１１（ａ）はPush-Pull駆動型のチャープレス変調動作を説明する図である。ａｒｍ１とａｒｍ２は互いに相補的な一対の電気信号で駆動されている。相補的な一対の電気信号とは、２つの電気信号の和が常に一定という意味であり、実際の生成手段としては、反転増幅器を用いたり、クロック信号のように狭帯域な場合は遅延線を用いることによって、極性の反転した一対の電気信号を得ることができる。

この駆動方法によって、両ａｒｍの光はバランスを保ちながら遷移するので、合成ベクトルは実軸上を遷移し、位相回転（＝チャープ）は生じない。各ａｒｍが０からπ／２（ｒａｄ）まで位相シフトすると（ｔ１→ｔ２）、合成ベクトルＳ（ｔ２）はゼロに至る。この図ではさらにπ（ｒａｄ）まで位相シフトした時の状況も示してある。π／２を過ぎると光パワー透過率は再び増加し、最終的には、強度は元と同じで位相が反転した位置に遷移するＳ（ｔ３）。

図１１（ｂ）は図１１（ａ）のａｒｍ１だけを０からπ（ｒａｄ）まで位相シフトして光パワー透過率を最大から最小まで遷移させた時の様子である。この図では遷移の途中時点ｔ２も一点描いている。この場合、合成ベクトルは円弧を描いてゼロに向かうようになり、強度に応じた位相回転すなわちチャープを伴う。このようにａｒｍ１とａｒｍ２の位相シフト量の比が１でない場合、チャープが生じる。

図１１（ｃ）はａｒｍ１とａｒｍ２の位相シフト量の比が図１１（ａ）と図１１（ｂ）の中間の場合である。

このように各ａｒｍにかかる位相シフト量の比がチャープを決めることが分かる。次に実際の$LiNbO_3$（ＬＮ）変調器で位相シフト量の比がどのように制御されているかを図１２で説明する。図１２はＬＮ基板上に作られたMach-Zehnder干渉計の図１０の（Ａ）線の位置での断面模式図である。ＬＮは結晶方位に関して、Ｚ軸がＸ，Ｙ軸に比べて高い電気光学係数を持っているため、一般的には変調電界がＺ軸方向にかかるように構成される。

図１２（ａ）は従来のＣＳ－ＲＺ送信器で用いられている「Ｚ軸－ｃｕｔ、Ｘ（Ｙ）軸伝搬（二信号駆動型）」変調器の構造である。図１０にあるとおり、二

図１３にその変調器構成を示す。全体はデータ変調部１３１とクロック変調部１３２に分かれている。それぞれ光変調器として２つの駆動信号を要するPush-Pull駆動型のLiNbO$_3$（ＬＮ）変調器が用いられている。これらのＬＮ変調器は、一対の相補的な電気信号で駆動されることによってチャープレスの光変調信号を出力する。

データ変調部１３１では、ＬＮ変調器は一対の相補的なＮＲＺ（Non-Return to Zero）符号のデータ信号で駆動されている。

クロック変調部１３２では、ＬＮ変調器は一対の相補的なクロック信号で駆動され、かつ、その周波数はビットレートの半分に設定されている。例えば４０Ｇｂ／ｓの場合、駆動信号は２０ＧＨｚのクロック信号である。以下では便宜的にビットレート周波数のクロック信号をＣＬＫ、ビットレート周波数の半分の周波数のクロック信号を１／２ＣＬＫと図示する。

このクロック変調部１３２に用いるＬＮ変調器のバイアス点すなわち入力０Ｖの時の設定は、光がｏｆｆになる点とする。従って変調作用は図１４に示すようになる。簡単のため光入力がＣＷ（continuous wave）光の時を考えると、変調出力光は、パワーでみると、光クロックパルスの周波数が入力クロック周波数の倍になっており、かつ、位相が１ビット毎に反転していることが分かる。この光クロック信号のスペクトルを見ると搬送波が抑圧されているため、これをＣＳ（Carrier-Suppressed）クロック信号と呼ぶ。

これらＮＲＺデータ変調部１３１とＣＳクロック変調部１３２を直列接続することによって両者の論理積が取られ、この１ビット毎に位相が反転したクロックパルス列に対して、パルス有無によるディジタル情報が載る。図１３ではデータ変調の後にＣＳクロック変調が行われているが、この順序は逆でも結果として得られる変調光は同じである。

ＣＳ－ＲＺ変調信号は、１、０、－１の３つのシンボルを持つ。ここで信号振幅は１に規格化しており、１と－１は位相が反転していることを意味している。この信号を光検出器を用いて直接検波（二乗検波）すると１と－１は同一視されて元の２値信号が得られる。

このＣＳ－ＲＺ変調方式は、通常のＲＺ変調方式に比べてＳＰＭ－ＧＶＤ劣化

を起こしにくい。以下ではＳＰＭ－ＧＶＤ波形劣化に対する耐力をＳＰＭ－ＧＶＤ耐力と呼ぶ。

ＣＳ－ＲＺ変調方式の送受信機の構成は、従来のＲＺ変調方式送受信器との構成の差違が少ないため、装置化技術に大きな飛躍がなく、導入しやすいという特長を持つ。

発明が解決しようとする課題

従来のＣＳ－ＲＺ変調方式でも通常のＲＺ変調方式に比べてＳＰＭ－ＧＶＤ耐力は増すが、さらなる向上が望まれる。そこで本発明は、ＳＰＭ－ＧＶＤ耐力をさらに増すためのＣＳ－ＲＺ変調方式の光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システムを提供することを目的とする。

発明の開示

本発明による光送信装置は、搬送波を生成する搬送波源と、データ信号で前記搬送波を強度変調するデータ変調部と、前記データ信号の１ビットスロット毎に前記搬送波の位相が反転するように前記搬送波を振幅変調するクロック変調部と、を備える光送信装置において、前記搬送波源又は前記データ変調部で前記搬送波にプリチャープを付与することを特徴とする。

また、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記プリチャープの向きが、伝送路光ファイバ中で生じる自己位相変調効果によるチャープの向きの反対向きであることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ信号の波形がＮＲＺ変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ信号の波形がＲＺ変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ変調部が、チャープ付与型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が$LiNbO_3$基板上に集積されていることを特徴と

する。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が光半導体基板上に集積されていることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ変調部が、チャープ付与型電界吸収型（ＥＡ）強度変調器を備えることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記クロック変調部が、Push-Pull型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、$LiNbO_3$基板上に集積されていることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、光半導体基板上に集積されていることを特徴とする。

本発明による光ファイバ伝送システムは、上記の光送信装置と、前記光送信装置から射出した光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバ間で光を中継する光増幅中継器と、前記光ファイバで伝送された光を受信する光受信装置と、を備える光増幅中継伝送システムであって、前記光ファイバの信号光波長における局所的な波長分散が非零であり、かつ、前記光送信装置から前記光受信装置までの累積波長分散量がおよそ零となるように制御されている分散アレンジ伝送路を用いたことを特徴とする。

作用

本発明は、上記のような改善を得るために、データ変調部において強度変化に応じた位相変調（プリチャープ）を付加することを特徴とする。今日ＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）通信用ファイバとして一般的になりつつある比較的大きな分散値を持つ伝送路においては、データ変調部においてＳＰＭと反対向きのプリチャープを付加するとＳＰＭ－ＧＶＤ耐力が向上することを

、伝送シミュレーションを用いて見出した。ただし、ＣＳクロック変調部でのプリチャープはＳＰＭ－ＧＶＤ劣化を増長してしまい好ましくないことも見出した。従って改良した構成は、ＣＳクロック部は従来技術の構成と基本的には変えず、データ変調部をチャープ付加型に置き換えたものである。以下ではデータ変調部の変調フォーマットとしてＮＲＺ変調方式を用いた時の例で作用を説明するが、ＲＺ変調方式フォーマットでもよい。

データ変調部とＣＳクロック変調部とで、プリチャープの作用が異なることを以下に説明する。各種のプリチャープを付加した状態を、図１１と同様にフェーザーダイアグラムで表したのが図１５である。この図では変調出力光のベクトル軌跡のみをプロットしている。黒い丸はビットスロットの中央時点を表す。ＬＮ変調器のチャープは強度に比例した位相シフトであるので、この図ではベクトル軌跡は円弧として描かれる。

図１５（ａ）は、従来のＣＳ－ＲＺ変調方式信号である。ＣＳ－ＲＺ変調方式では１と－１のシンボルを持っており、かつ、チャープは付与されていないことが確認できる。

図１５（ｂ）は、ＣＳ－ＲＺ変調方式のＮＲＺ変調部において、ＳＰＭと反対向きのプリチャープを付与するように駆動したＬＮ変調器によってＮＲＺ変調した場合である。この信号では、振幅の遷移が１→－１もしくは－１→１の場合にはチャープが付与されず、０→±１、±１→０の時のみプリチャープが付与されていることが分かる。チャープの向きが信号光増加に対して位相が進む方向になっていることも確認できる。

図１５（ｃ）は、ＣＳ－ＲＺ変調方式のＣＳクロック変調部において、図１５（ｂ）と同じＬＮ変調器の駆動法によってＣＳクロック変調した場合である。この信号では、光振幅が０⟷１を遷移する時のチャープの向きと０⟷－１を遷移する時のチャープの向きが反対になってしまうことが分かる。これではＳＰＭ－ＧＶＤ耐力の向上が期待できない。さらにはフェーザーダイアグラムが原点対称形から外れていることから分かるように、振幅の正負に偏りが生じて搬送波が十分抑圧されなくなる。

以上から、ＣＳ－ＲＺ変調方式に対してプリチャープを付与しようとする場合

、データ変調部にて付与するのが理想的であり、ＣＳクロック変調部ではチャープを付与しない方が望ましいことが理解される。

図面の簡単な説明

図１は、本発明の第１の実施形態による光送信装置の構成図である。

図２は、本発明の第２の実施形態による光送信装置の構成図である。

図３は、本発明の第３の実施形態による光送信装置の構成図である。

図４は、本発明の第４の実施形態による光送信装置の構成図である。

図５は、本発明の実施形態の効果をシミュレーションするための伝送システムのモデルのブロック図である。

図６は、本発明の第１から第４の実施形態による改善効果を説明するための、中継器出力パワー対アイ面積ペナルティ特性を示すグラフである。

図７は、図６の中継器出力パワーが＋９ｄＢｍであるときの各変調方式についての伝送後アイパターンであり、（ａ）はＲＺ変調方式、（ｂ）はＣＳ－ＲＺ変調方式、（ｃ）はチャープ付与型ＣＳ－ＲＺ方式についてのものである。

図８は、本発明の改善効果を説明するための、正常分散ファイバについての中継器出力パワー対アイ面積ペナルティ特性を示すグラフである。

図９は、本発明の改善効果を説明するための局所分散値対中継器出力上限値特性を示すグラフである。

図１０は、二光束干渉型光変調器の構成を説明する図である。

図１１は、二光束干渉型光変調器の動作をフェーザで説明する図である。

図１２は、ＬＮ光変調器の構成を説明する断面図である。

図１３は、従来例によるＣＳ－ＲＺ変調送信器の構成図である。

図１４は、ＣＳクロック変調部のＬＮ変調器の動作を説明する図である。

図１５は、各種のプリチャープを付与したＣＳ－ＲＺ変調方式についての変調出力光のベクトル軌跡を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

［実施形態１］

図１は、本発明の第１の実施形態を示す。光源１００である波長１．５５μｍの半導体レーザからの出射光は、まずデータ変調部１０１内のチャープ付与型のＬＮ変調器１０３でＮＲＺ変調される。次にＣＳクロック変調部１０２のPush-Pull型のＬＮ変調器１０４でＣＳクロック変調される。チャープ付与型のＬＮ変調器１０３として図１２（ｂ）の構造を持つ変調器を用いた。

従来のＣＳ－ＲＺ変調方式では、データ変調部にチャープレスな変調が可能な２入力型のPush-Pull型のＬＮ変調器１３３を用いている。これに対して本発明ではチャープを付与するＬＮ変調器１０３を用いている点が異なる。また副次的なメリットとして、従来技術では２入力型のPush-Pull型のＬＮ変調器１３３を駆動するために一対の相補的な駆動信号が必要であったが、一般的なチャープ付与型のＬＮ変調器１０３は一入力なので、駆動信号まわりが単純化され、低コスト化も図ることができる。

ところで、従来のＣＳ－ＲＺ変調方式ではデータ変調部１３１はＮＲＺ変調方式フォーマットの電気信号で駆動されていた。データ変調部１３１の変調フォーマットがＮＲＺ変調方式であっても、ＣＳクロック変調によって最終的な光出力はＲＺ変調方式になる。しかしながら本発明のデータ変調部１０１の変調フォーマットがＮＲＺ変調方式に限られる訳ではなく、ＲＺ変調方式フォーマットでも有効である。つまりデータ変調部１０１のＬＮ変調器１０３の駆動信号として、ＲＺ変調方式フォーマットの電気信号を用いてもよい。

［実施形態２］

図２は、本発明の第２の実施形態を示す。第１の実施形態との違いは、データ変調部２０１にＥＡ変調器２０３を用いている点である。ＥＡはElectro-Absorptionの略で、電界吸収型変調器とも呼ばれる。このデバイスは、光半導体のバンドギャップを印加電界によって変化させ、それによる吸収端波長の変化を利用した、光シャッターである。

ＥＡ変調器２０３では、一般に、電界をかけて吸収量を変化させると、同時に屈折率も変化する。そのため、そこを通過する光は位相変調すなわちチャープを被る。ＥＡ変調器２０３のチャープの向きは、駆動信号に重畳する逆バイアス電

圧によって変化する。一般に、バイアス電圧が小さい時はＳＰＭと反対向き、バイアス電圧が大きい時はＳＰＭと同じ向きへと連続的に変化する。ただし通常、バイアス点は出力信号光が良好に強度変調されるように調整するため、任意に設定できるものではない。現在一般的なＥＡ変調器の標準的なバイアス電圧におけるチャープの向きはＳＰＭと反対向きであり、今日WDM通信用ファイバとして一般的になりつつある比較的大きな分散値を持つ伝送路に本発明を実施する場合に都合がよい。

ＥＡ変調器２０３は、光源１００である半導体レーザと組成や製法が似ているため、一括して集積した形で製造できる。そのような変調器一体型の光源は既に実用化されており、光送信器の低コスト化、小型化に大きく寄与している。第２の実施形態では変調速度が４０Ｇｂ／ｓと高速であるため、変調器２０３と光源１００が一体化されたものは入手できず、分離されたものを用いたが、将来は集積化可能な構成である。

なお、ＥＡ変調器２０３の場合も、本発明の駆動データ信号は、ＮＲＺ変調方式だけでなく、ＲＺ変調方式フォーマットでも有効である。

［実施形態３］

図３は、本発明の第３の実施形態を示す。第１、第２の実施形態では、ＣＳクロック変調部１０２で必要とするチャープレス型の光変調器として、２つの電気信号入力を必要とするPush-Pull型のＬＮ変調器１０４を用いている。これに対して本実施形態では、電気信号入力が１つでも、Push-Pull動作可能なＬＮ変調器３０４を用いている。これにより、一対の相補的な駆動信号の位相差や振幅を揃える煩わしさが消えて、低コスト化を図ることができる。

一つの電気信号入力でPush-Pull動作できるＬＮ変調器３０４は、図１２（ｃ）に示すように入力信号によって生ずる電界が、干渉計の２つのアームで逆相に印加されるように配置されているため、一つの駆動信号入力でPush-Pull動作が実現できる。第１、第２の実施形態で用いたような２入力型のＬＮ変調器１０４は、２つの入力信号で２つのアームに異なる位相変調を別々に施すことができるので、Push-Pull駆動以外にも自由な組み合わせの変調が可能である。しかし、

互いに反転した位相変調がかかればよいPush-Pull駆動に用途を限定すれば、このように構成を大幅に簡単化できる。

図１２（ｃ）に示すような「Ｘ（Ｙ）軸－ｃｕｔ、Ｙ（Ｘ）軸伝搬」基板による一入力型のチャープレス変調器はこれまでも知られていたものの、ＬＮ基板の製造の難しさなどから商業的にはあまり用いられず、主に図１２（ａ）、（ｂ）に示した「Ｚ軸－ｃｕｔ、Ｘ（Ｙ）軸伝搬」基板が用いられている。またＣＳクロック発生用に「Ｘ（Ｙ）軸－ｃｕｔ、Ｙ（Ｘ）軸伝搬」基板による一入力型のチャープレス変調器を用いることもこれまで行われていない。

この一入力型チャープレスＬＮ変調器３０４によるＣＳクロック変調部３０２と一入力型チャープ付きデータ変調部（例えば図１中のＬＮ変調器１０３、図２、３中のＥＡ変調器２０３）の組み合わせは、必要とされる駆動信号の数がＤＡＴＡ信号１つ、クロック信号（ビットレートの半分の周波数）１つと最もシンプルであり、調整箇所が少なくてすむため実用性が高い構成である。

［実施形態４］

図４は、本発明の第４の実施形態を示す。ＲＺ変調方式フォーマットにするための、ビットレート周波数のクロック信号で駆動されるＥＡ変調器４０３が追加されていることが特徴である。

第１～第３の実施形態では、データ変調部出力の変調フォーマットをＲＺ変調方式としたい場合、データ電気信号自体をＲＺ変調方式フォーマットにしていたが、このようにデータ変調用の変調器２０３とクロック変調用の変調器４０３に役割を分けてもよい。

ＲＺ変調方式フォーマットの電気信号波形は振幅方向に上下非対称で、かつＮＲＺ変調方式フォーマットよりも広帯域になるので、電気回路の実現がやや難しいという問題があるが、この構成により解消できる。またＲＺ変調方式化するための変調器４０３を別途備えることによって、パルス幅やパルス形状などの選択自由度が広がるという特徴もある。また実施形態４のように、専らＲＺ変調方式化を受け持つ変調器４０３を備える場合にその変調器でＳＰＭと反対向きのチャープを与えてもよい。

以上説明した実施形態１～４によって得た、改良されたＣＳ－ＲＺ変調信号を用いて伝送特性がどの程度改善されるかを次に説明する。

以下の例は、ビットレート４０Ｇｂ／ｓ、信号光波長１．５５μｍ、伝送距離８０ｋｍ中継×６スパンの光伝送システムに、本発明を適用したものである。図５に伝送システムのブロック図を示す。伝送路は、伝送路ファイバ５０２としてＳＭＦ、中継器５０３内での分散補償デバイスとして分散補償ファイバ５０５を用いた分散アレンジ伝送路である。これにより、信号光波長における波長分散は、局所的には非零だが、送信器５０１から受信器５０４までの全体の蓄積分散量はほぼゼロになっている。伝送路はＳＭＦ８０ｋｍ×６中継で、全４８０ｋｍである。中継器５０３内の分散補償ファイバ５０５に入力するパワーはＳＭＦ入力パワー（横軸）の１０ｄＢダウンとした。

以下に、ＳＰＭ－ＧＶＤ現象を忠実に再現できる計算機シミュレーションで得た結果を用いて効果を説明する。図６は各変調方式における中継器出力対波形歪みの調査結果である。横軸は中継器出力パワー（ｄＢｍ）、縦軸は送信器直後を基準としたアイの開いている面積である。凡例のＣＳ－ＲＺ（０）、ＣＳ－ＲＺ（ｐ）、ＣＳ－ＲＺ（ｍ）はチャープ種類を表しており、ＣＳ－ＲＺ（０）はチャープなし（従来技術）、ＣＳ－ＲＺ（ｐ）はＳＰＭと反対方向のチャープ付き、ＣＳ－ＲＺ（ｍ）はＳＰＭと同方向のチャープ付きを意味している。

中継器出力が高くなるとＳＰＭ－ＧＶＤ劣化によってアイが潰れていく様子が分かる。変調方式による違いを見ると、最も劣化し易いのはＲＺ変調方式であり、次に、ＣＳ－ＲＺ（ｍ）変調方式、ＣＳ－ＲＺ（０）変調方式、本発明により改良されたＣＳ－ＲＺ（ｐ）変調方式の順に続く。

図７（ａ）はＲＺ変調方式について、図７（ｂ）はＣＳ－ＲＺ（０）変調方式について、図７（ｃ）はＣＳ－ＲＺ（ｐ）変調方式についての＋９ｄＢｍ時のアイパターンである。ＲＺ変調方式からＣＳ－ＲＺ変調方式にすることで大幅な改善があり、さらにデータ変調部にてＳＰＭと反対向きのチャープを付与することによって、０レベルのざわつきが改善されることが分かる。許容しうるアイ面積劣化を２ｄＢとすると、送出上限パワー値は、ＲＺ変調方式からＣＳ－ＲＺ変調方式にすることによって約１．６ｄＢ、さらにチャープ付与型ＣＳ－ＲＺ変調方

式にすることによって約０．４ｄＢ改善している。ＲＺ変調方式からチャープ付与型ＣＳ－ＲＺ変調方式にすることによる改善量は計約２ｄＢであり、これは約１０ｋｍの伝送ロスに相当し、伝送距離割合にして１２．５％の伸張に相当する。

確認のために、チャープの向きをＳＰＭと同方向にしたときの結果も示してある。ＳＰＭと同方向ではチャープレスよりも劣化しやすくなってしまうことが分かる。

図８は、図６と同じことをファイバの分散の極性を反対にした場合について計算した結果である。このようなファイバは現実にはないが、シミュレーションによる思考実験は可能である。図６と比べるとどの変調方式も劣化が少なく、その分、チャープ付与型ＣＳ－ＲＺ変調方式のＣＳ－ＲＺ変調方式に対する改善量も少ない。このことから本発明は、特に、非線形現象が生じる伝送ファイバの分散値が異常分数の場合に、効果がより大きいことが分かる。なおこの場合もチャープの向きはＳＰＭと反対方向のチャープがよいことが分かる。

以上の局所分散値（±１６ｐｓ／ｎｍ／ｋｍ）では、最適なチャープの向きはＳＰＭと反対方向であったが、これ以外の分散値での結果を図９に示した。凡例のＣＳ－ＲＺ（０）、ＣＳ－ＲＺ（ｐ）、ＣＳ－ＲＺ（ｍ）はチャープ種類を表しており、（０）はチャープなし（従来技術）、（ｐ）はＳＰＭと反対方向のチャープ付き、（ｍ）はＳＰＭと同方向のチャープ付きを意味している。

この図から、特に局所分散値の絶対値が６ｐｓ／ｎｍ／ｋｍを越える領域ではＣＳ－ＲＺ変調方式のＲＺ変調方式に対する改善度が大きいことがわかる。また、その領域のほとんど全てにおいて、ＳＰＭと反対方向のチャープを付与したＣＳ－ＲＺ変調方式が最適であることがわかる。

以上、本発明の実施形態を説明したが、本発明はこれらの構成に限定されるものではなく、各種の組合せや変形が可能である。

まず、データ変調部にはチャープ付与型のＬＮ変調器やＥＡ変調器を用いたが、これ以外にもＳＰＭと反対向きのプリチャープを付与する光強度変調器であれば、どのようなものでも構わない。強度変調する部分と位相変調する部分が別個になった物の組合せでもよい。また半導体レーザ光源の駆動電流にクロック周波

数信号を重畳してプリチャープを生じさせる光源の直接変調の技術を用いて光源においてプリチャープを搬送波に付与してもよい。

ＣＳクロック変調部には２つの駆動信号を要するPush-Pull型と１つの信号で駆動できるPush-Pull型のＬＮ変調器を用いたが、これ以外にもチャープを付与せずにビット毎に位相反転が可能な変調器構成があれば、それを用いて構わない。

二光束干渉型変調器を実現する材料として、実施形態ではＬＮを用いたが、これに限らず、光半導体基板上に導波路と変調器を集積して実現してもよい。実現例は、C.Rolland et.al, ” 10Gbit/s, 1.56μm multiquantum well InP/InGaAsP Mach-Zehnder optical modulator”, Electron.Lett., p.471, 1993に開示されるものである。またバルク部品で二光束干渉計と位相変調器を組合せても良い。

実施形態ではデータ変調の後、ＣＳクロック変調しているが、この順序で逆でも同じ結果を得られることは言うまでもない。

ＣＳクロック変調部の駆動信号としては、ビットレートの半分の周波数であれば、その波形は純粋な正弦波に限らず、歪んだ正弦波や矩形波などでも、本質的な作用は損なわれない。

実施形態では伝送波長数は一波であったが、波長多重技術を併用しても本発明の本質的な作用は損なわれない。

実施形態では伝送路ファイバとしてＳＭＦを用いたが、異なる波長分散特性を持つ伝送路ファイバであっても本発明の本質的な作用は損なわれない。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の構成を用いることにより、従来のＣＳ－ＲＺ変調方式よりもさらにＳＰＭ－ＧＶＤ耐力の高い変調信号を得ることができ、ＳＰＭ－ＧＶＤにより性能が制約されている光伝送システムの、伝送距離の伸張や、符号誤り率の改善が得られる。

請求の範囲

１．　搬送波源と、
データ信号で前記搬送波を強度変調するデータ変調部と、
前記データ信号の１ビットスロット毎に前記搬送波の位相が反転するように前記搬送波を振幅変調するクロック変調部と、
を備える光送信装置において、
前記搬送波源又は前記データ変調部で前記搬送波にプリチャープを付与することを特徴とする光送信装置。

２．　前記プリチャープの向きが、伝送路光ファイバ中で生じる自己位相変調効果によるチャープと反対向きであることを特徴とする請求項１に記載の光送信装置。

３．　前記データ信号の波形がＮＲＺ（Non-Return to Zero）変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする請求項１又は２に記載の光送信装置。

４．　前記データ信号の波形がＲＺ（Return to Zero）変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする請求項１又は２に記載の光送信装置。

５．　前記データ変調部が、チャープ付与型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の光送信装置。

６．　前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が$LiNbO_3$基板上に集積されていることを特徴とする請求項５に記載の光送信装置。

７．　前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が光半導体基板上に集積されていることを特徴とする請求項５に記載の光送信装置。

８．　前記データ変調部が、チャープ付与型電界吸収型（ＥＡ）強度変調器を備えることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の光送信装置。

９．　前記クロック変調部が、Push-Pull型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする請求項１乃至８のいずれか１項に記載の光送信装置。

１０．　前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、$LiNbO_3$基板上に集積されていることを特徴とする請求項９に記載の光送信装置。

１１．　前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、光半導体基板上に集積されていることを特徴とする請求項９に記載の光送信装置。

１２．　請求項１乃至１１のいずれか１項に記載の光送信装置と、前記光送信装置から射出した光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバ間で光を中継する光増幅中継器と、前記光ファイバで伝送された光を受信する光受信装置と、を備える光増幅中継伝送システムであって、前記光ファイバの信号光波長における局所的な波長分散が非零であり、かつ、前記光送信装置から前記光受信装置までの累積波長分散量がおよそ零となるように制御されている分散アレンジ伝送路を用いたことを特徴とする光ファイバ伝送システム。

図 1

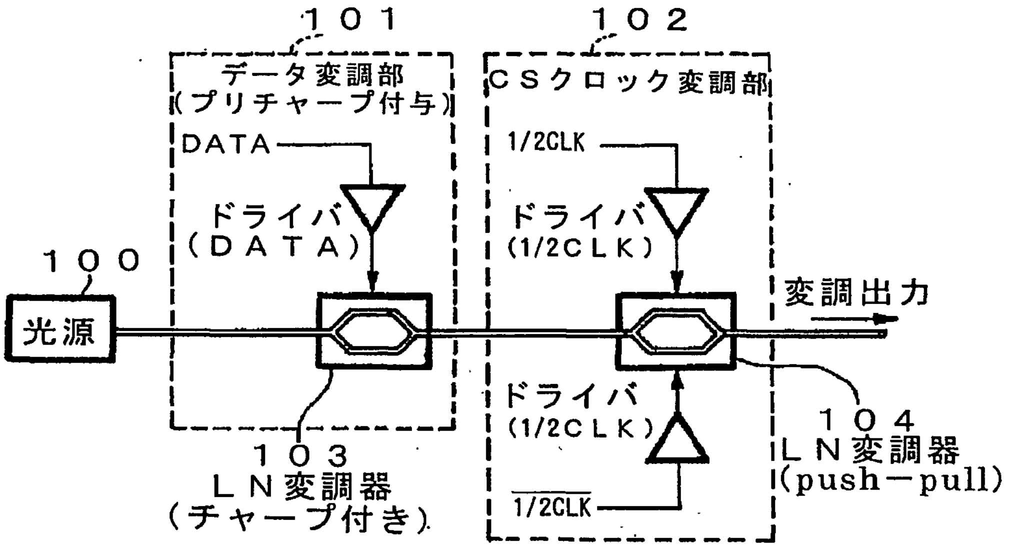

１０１
データ変調部
（プリチャープ付与）
DATA
ドライバ
（ＤＡＴＡ）
１０２
ＣＳクロック変調部
1/2CLK
ドライバ
（1/2ＣＬＫ）
１００
光源
変調出力
ドライバ
（1/2ＣＬＫ）
$\overline{1/2CLK}$
１０３
ＬＮ変調器
（チャープ付き）
１０４
ＬＮ変調器
(push－pull)

図 2

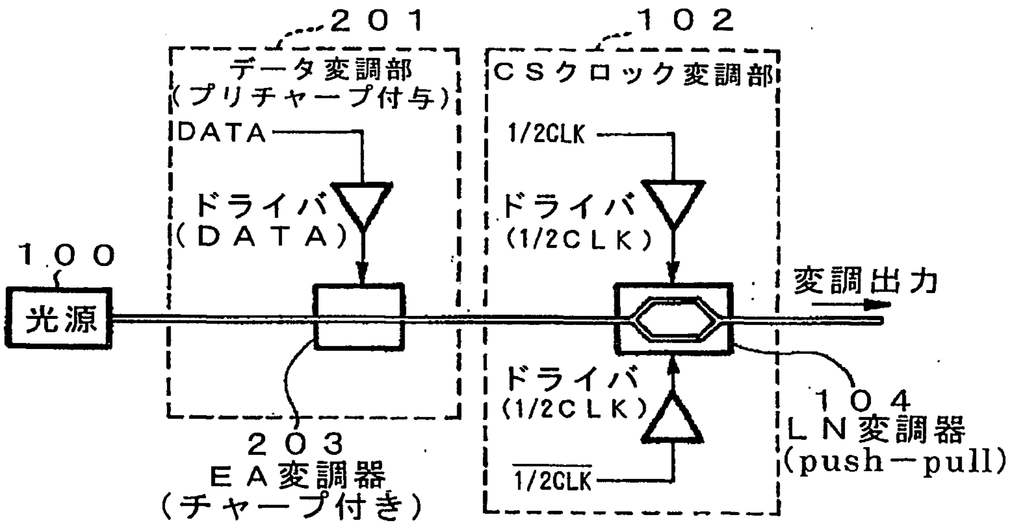

２０１
データ変調部
（プリチャープ付与）
DATA
ドライバ
（ＤＡＴＡ）
１０２
ＣＳクロック変調部
1/2CLK
ドライバ
（1/2ＣＬＫ）
１００
光源
変調出力
ドライバ
（1/2ＣＬＫ）
$\overline{1/2CLK}$
２０３
ＥＡ変調器
（チャープ付き）
１０４
ＬＮ変調器
(push－pull)

図 3

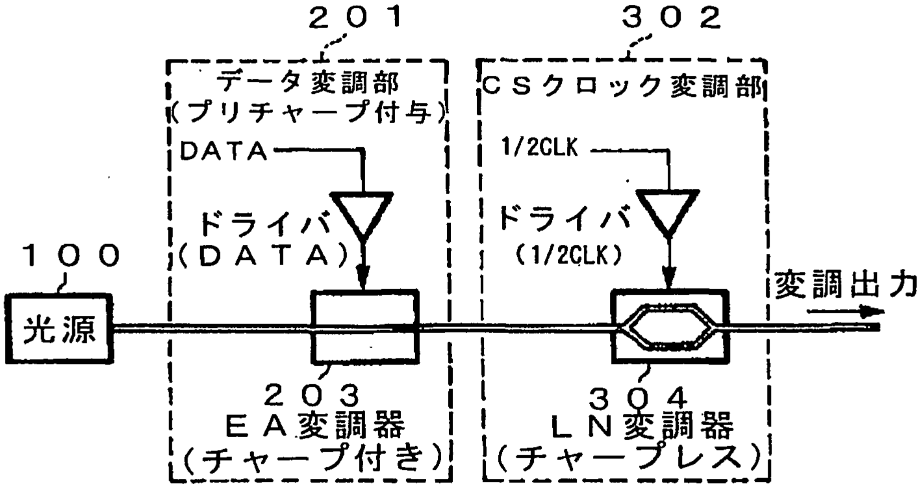

２０１
３０２
データ変調部
（プリチャープ付与）
DATA
ドライバ
（DATA）
CSクロック変調部
1/2CLK
ドライバ
（1/2CLK）
１００
光源
変調出力
２０３
EA変調器
（チャープ付き）
３０４
LN変調器
（チャープレス）

図 4

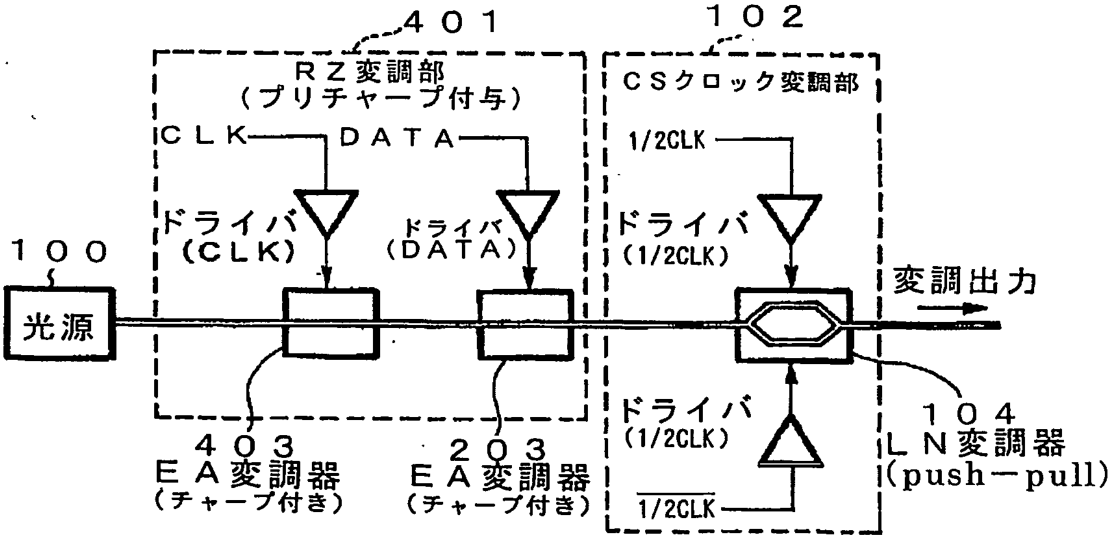

４０１
１０２
RZ変調部
（プリチャープ付与）
CLK
DATA
ドライバ
（CLK）
ドライバ
（DATA）
CSクロック変調部
1/2CLK
ドライバ
（1/2CLK）
１００
光源
変調出力
ドライバ
（1/2CLK）
$\overline{1/2CLK}$
４０３
EA変調器
（チャープ付き）
２０３
EA変調器
（チャープ付き）
１０４
LN変調器
（push－pull）

図 5

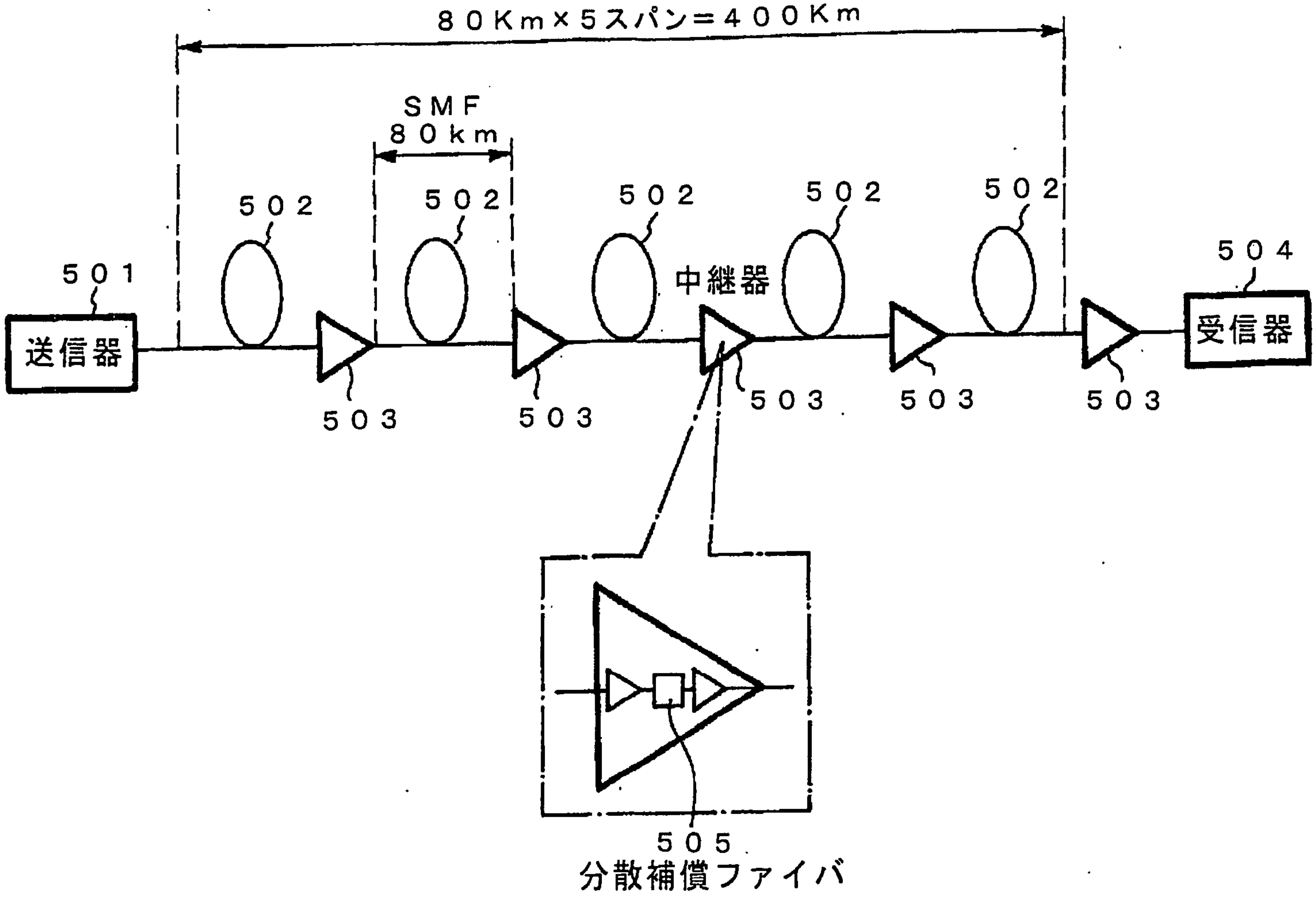

８０Ｋｍ×５スパン＝４００Ｋｍ
ＳＭＦ
８０ｋｍ
送信器
中継器
受信器
分散補償ファイバ

図 6

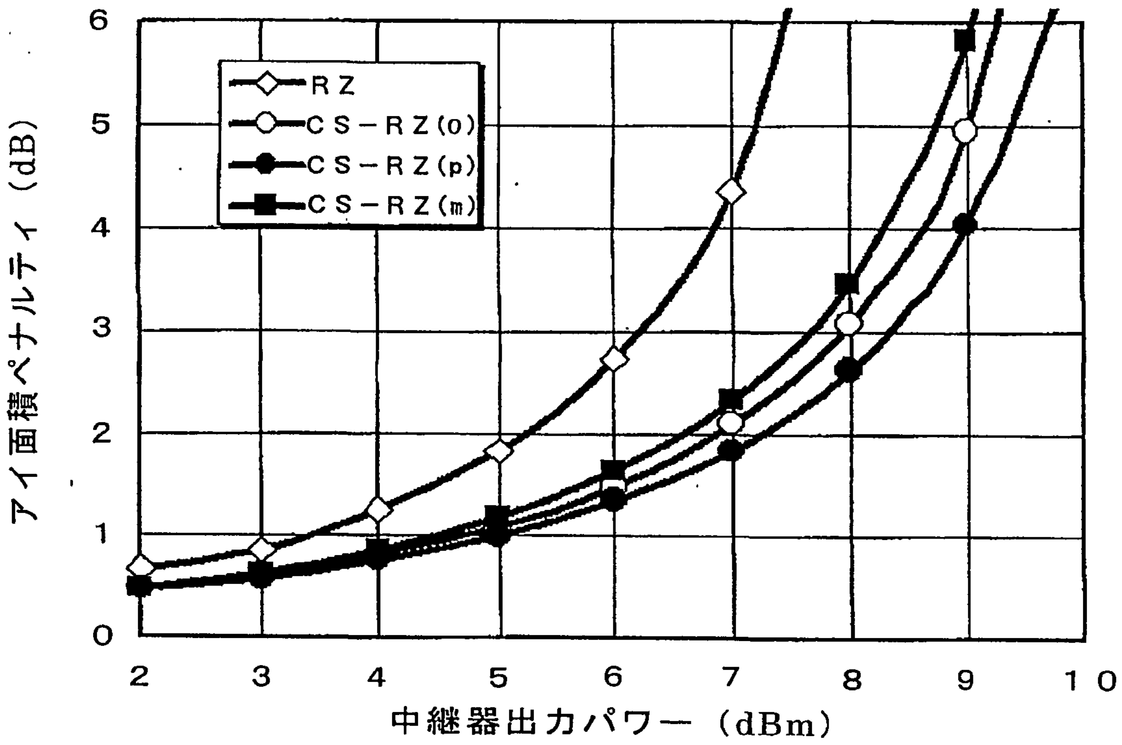

R Z
C S－R Z (o)
C S－R Z (p)
C S－R Z (m)
アイ面積ペナルティ (dB)
0
1
2
3
4
5
6
2
3
4
5
6
7
8
9
1 0
中継器出力パワー (dBm)

図 7

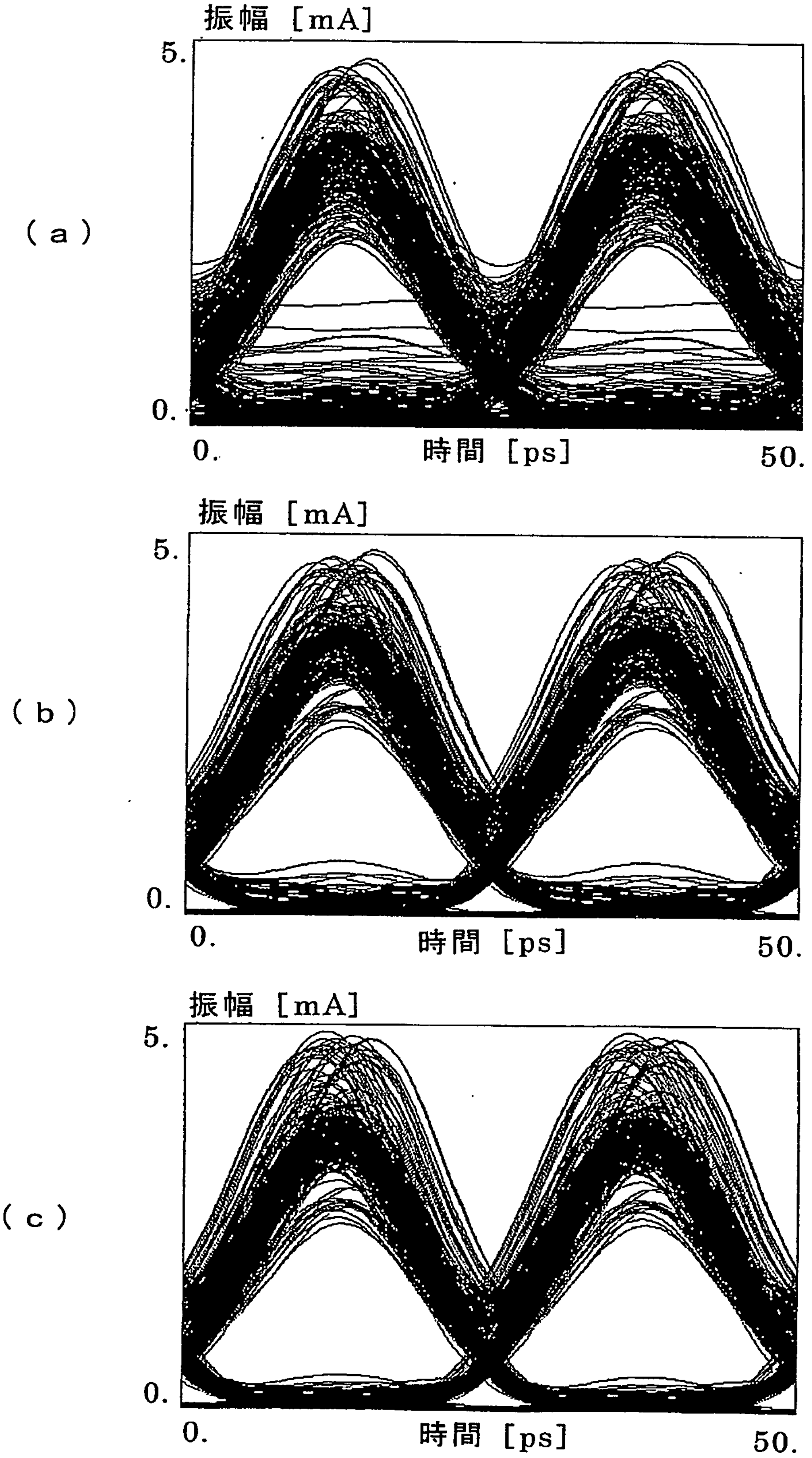


図 8

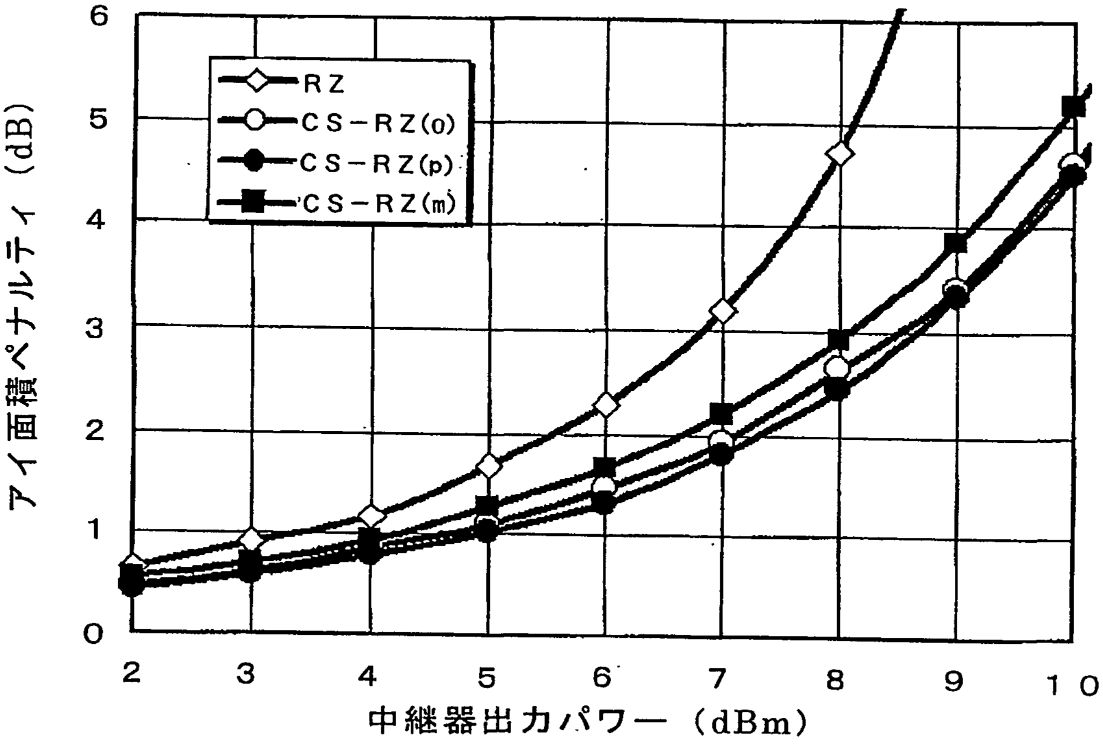

RZ
CS－RZ(o)
CS－RZ(p)
CS－RZ(m)
アイ面積ペナルティ (dB)
0
1
2
3
4
5
6
中継器出力パワー (dBm)
2
3
4
5
6
7
8
9
10

図　9

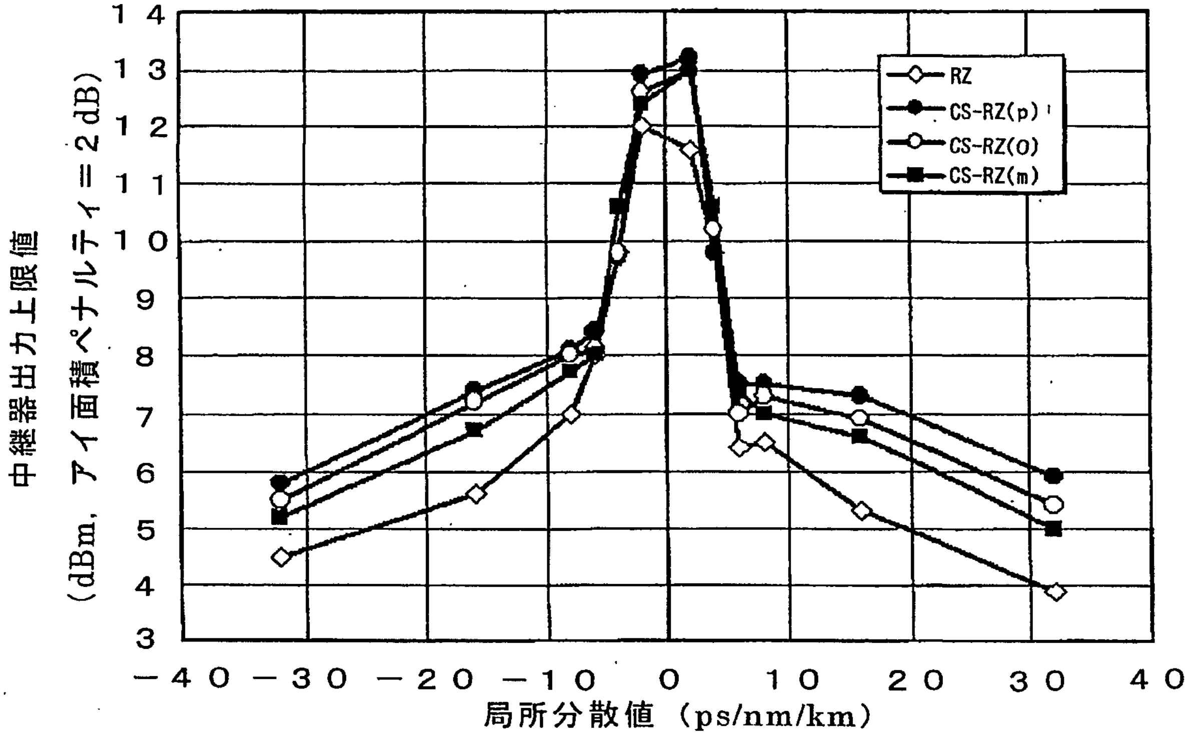

１４
１３
１２
１１
１０
９
８
７
６
５
４
３
－４０
－３０
－２０
－１０
０
１０
２０
３０
４０
中継器出力上限値
（dBm，アイ面積ペナルティ＝２dB）
局所分散値（ps/nm/km）
RZ
CS-RZ(p)
CS-RZ(o)
CS-RZ(m)

図　１０

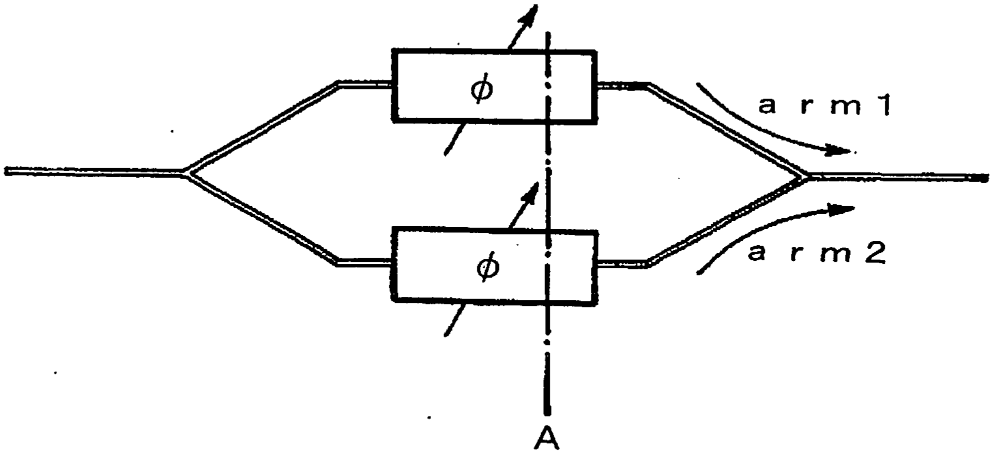

φ
φ
ａｒｍ１
ａｒｍ２
A

図 11

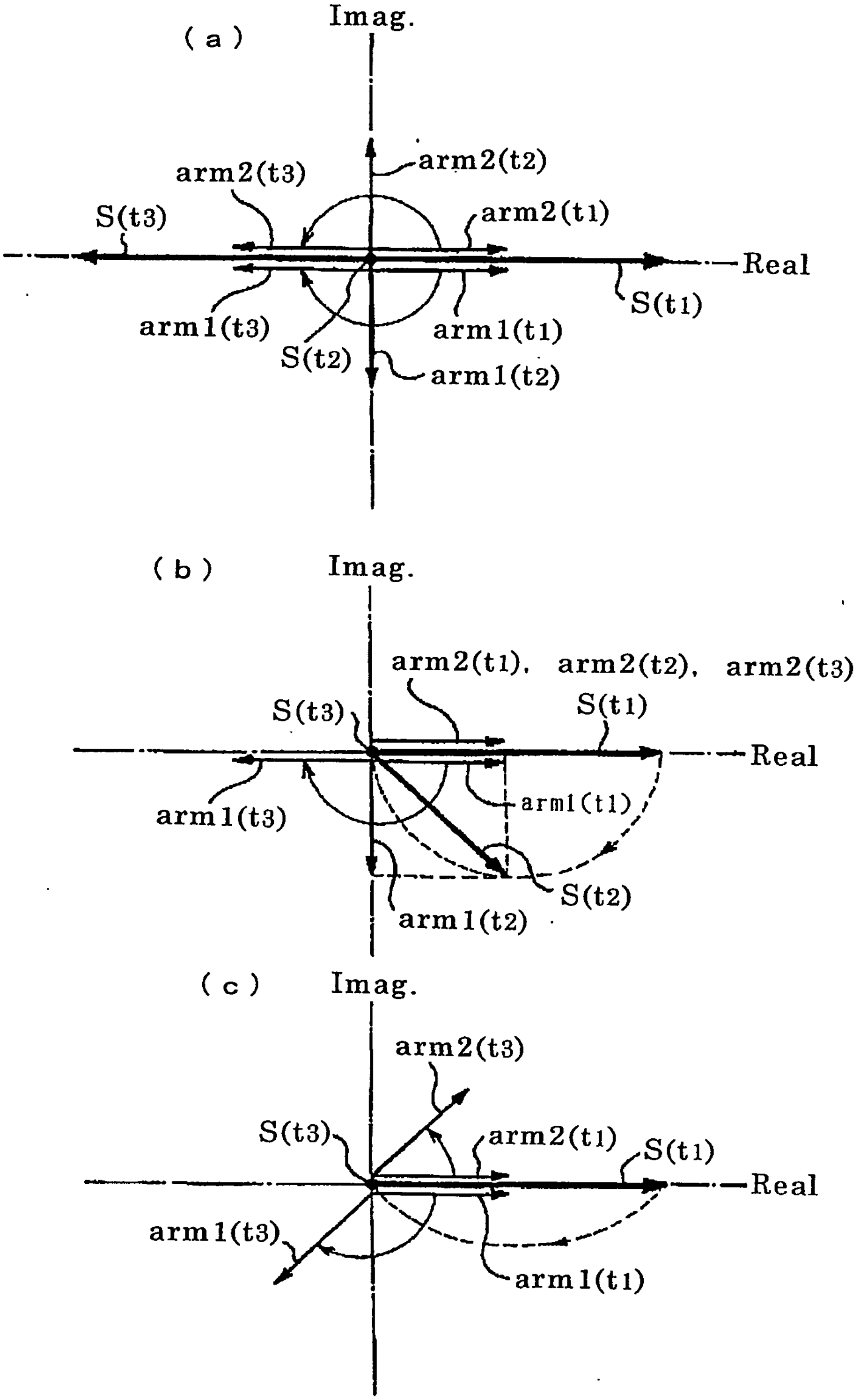

(a)
Imag.
arm2(t2)
arm2(t3)
S(t3)
arm2(t1)
Real
S(t1)
arm1(t3)
arm1(t1)
S(t2)
arm1(t2)
(b)
Imag.
arm2(t1), arm2(t2), arm2(t3)
S(t3)
S(t1)
Real
arm1(t1)
arm1(t3)
S(t2)
arm1(t2)
(c)
Imag.
arm2(t3)
S(t3)
arm2(t1)
S(t1)
Real
arm1(t3)
arm1(t1)

図　１２

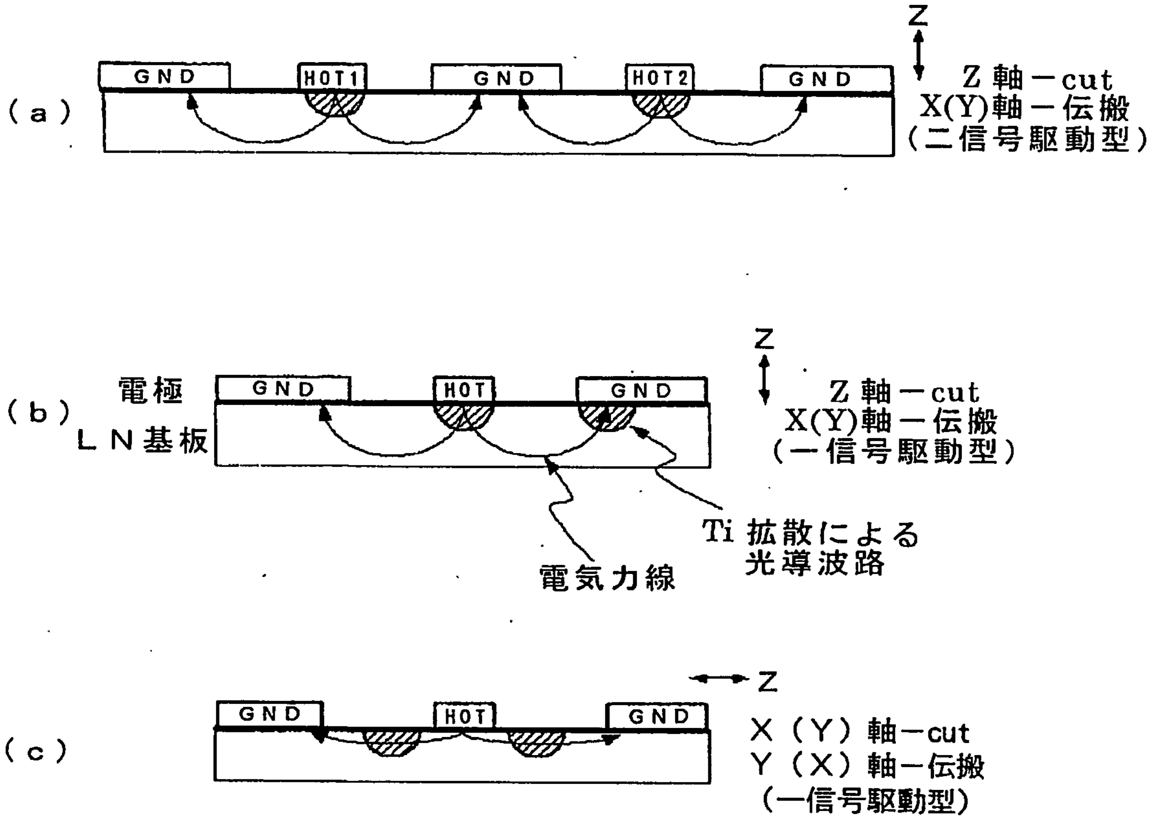

Z
GND
HOT1
GND
HOT2
GND
（ａ）
Z 軸 －cut
X(Y)軸 － 伝搬
（二信号駆動型）
Z
電極
GND
HOT
GND
（ｂ）
ＬＮ基板
Z 軸 －cut
X(Y)軸 － 伝搬
（一信号駆動型）
Ti 拡散による
光導波路
電気力線
Z
GND
HOT
GND
（ｃ）
X （Y） 軸－cut
Y （X） 軸－伝搬
（一信号駆動型）

図　１３

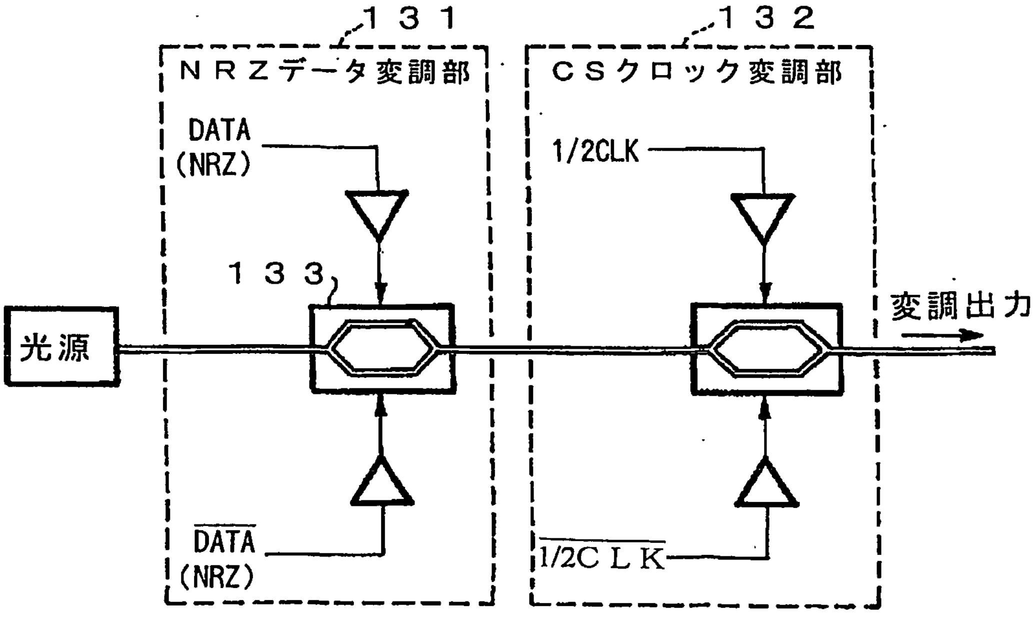

１３１
ＮＲＺデータ変調部
DATA
(NRZ)
１３３
$\overline{\text{DATA}}$
(NRZ)
１３２
ＣＳクロック変調部
1/2CLK
$\overline{\text{1/2CLK}}$
光源
変調出力

図　１４

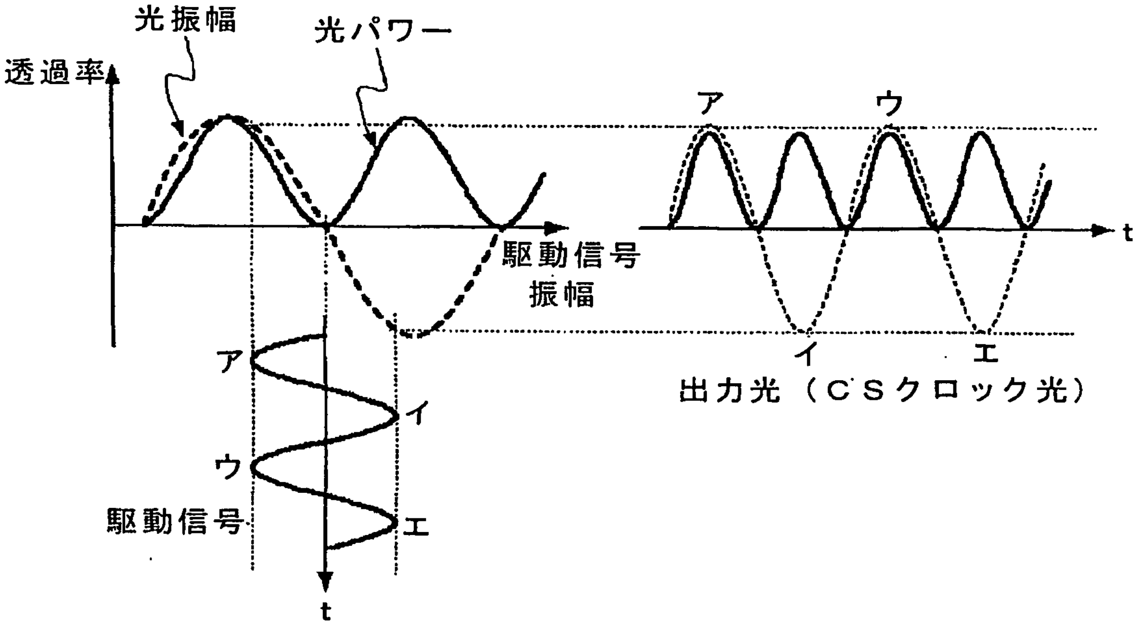
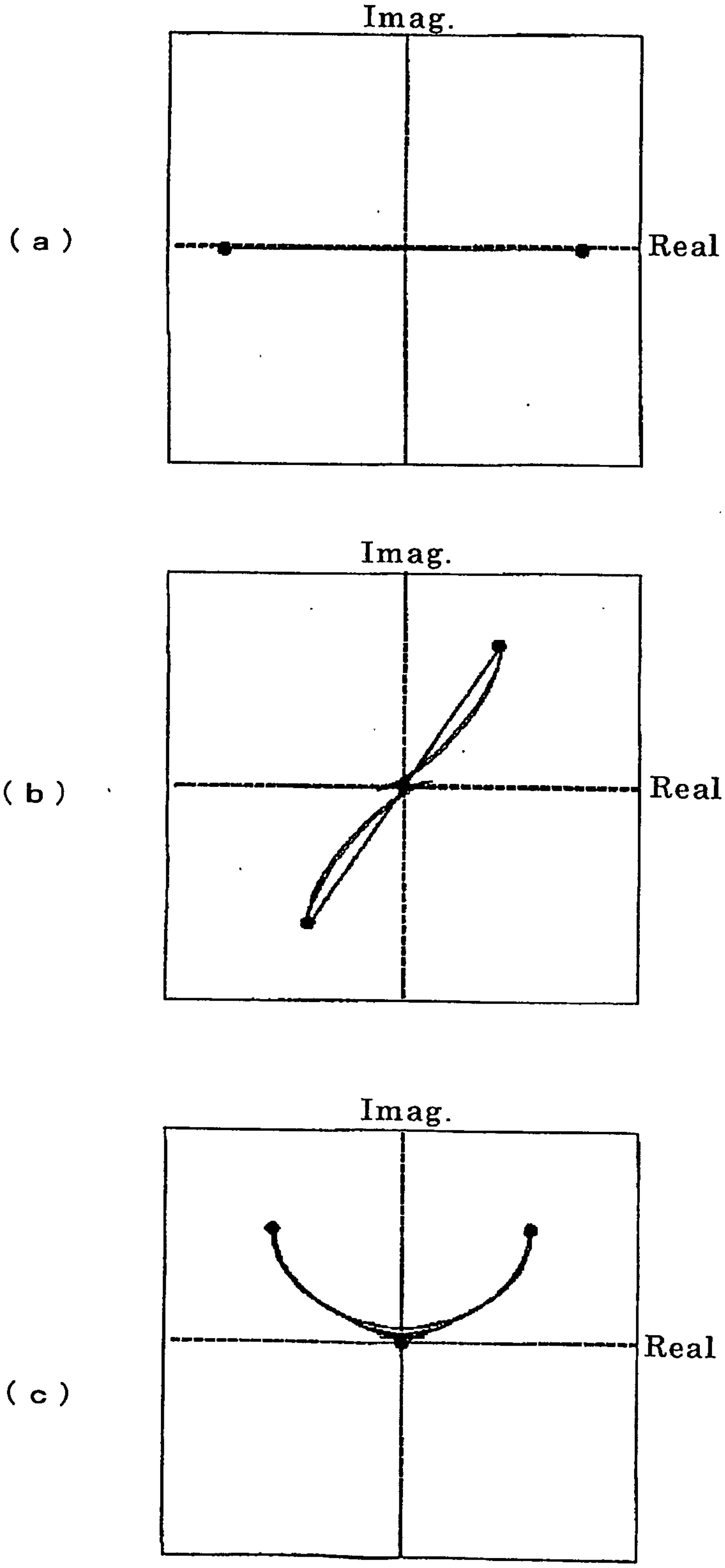


図　１５



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP01/05763

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl^7 H04B10/18, H04B10/02, G02F 1/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl^7 H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08, G02F 1/01

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2001	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	A. HIRANO et al., "40Gbit/s L-band transmission experiment using SPM-tolerant carrier-suppressed RZ format", Electronics Letters, IEEE, 9th December, 1999, Vol.35, No.25, pages 2213 to 2215	1-12
Y	JP 10-285144 A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. (KDD)), 23 October, 1998 (23.10.98), Full text; all drawings (Family: none)	1
Y	JP 10-79705 A (Fujitsu Limited), 24 March, 1998 (24.03.98), Full text; all drawings & GB 2316821 A & US 5926297 A	1,2,8
Y	Akihide SANO et al., "Pri-chirp to Bunsan Management ni yori SPM/XPM wo Yokuatsu shita 40Gbit/s/ch WDM Denso, "Denshi Joho Tsuushin Gakkai Gijutsu Kenkyu Houkoku", Hikari Tsuushin System, Denshi Joho Tsuushin Gakkai, 16 June, 2000, Vol.100, No.129, pages 49 to 54	12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

*	Special categories of cited documents:	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E"	earlier document but published on or after the international filing date	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&"	document member of the same patent family
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 19 September, 2001 (19.09.01)	Date of mailing of the international search report 02 October, 2001 (02.10.01)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

国際調査報告	国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ０１／０５７６３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））
Ｉｎｔ．Ｃｌ^7　Ｈ０４Ｂ１０／１８
Ｈ０４Ｂ１０／０２
Ｇ０２Ｆ　１／０１

Ｂ．　調査を行った分野
調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））
Ｉｎｔ．Ｃｌ^7　Ｈ０４Ｂ１０／００－１０／２８
Ｈ０４Ｊ１４／００－１４／０８
Ｇ０２Ｆ　１／０１

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００１年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Ｙ	Ａ．ＨＩＲＡＮＯ ｅｔ ａｌ．４０Ｇｂｉｔ／ｓ Ｌ－ｂａｎｄ ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ ｅｘｐｅｒｉｍｅｎｔ ｕｓｉｎｇ ＳＰＭ－ｔｏｌｅｒａｎｔ ｃａｒｒｉｅｒ－ｓｕｐｐｒｅｓｓｅｄ ＲＺ ｆｏｒｍａｔ，ＥＬＥＣＴＲＯＮＩＣＳ ＬＥＴＴＥＲＳ，ＩＥＥＥ，９ｔｈ Ｄｅｃｅｍｂｅｒ １９９９，Ｖｏｌ．３５，Ｎｏ．２５，ｐ．２２１３－２２１５	1-12

☒　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　□　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日　１９．０９．０１	国際調査報告の発送日　02.10.01
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｊ　９８５５ 江口　能弘　印 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５３４

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（１９９８年７月）

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Ｙ	ＪＰ　１０－２８５１４４　Ａ（国際電信電話株式会社） ２３．１０月．１９９８（２３．１０．９８） 全文，全図　（ファミリーなし）	1
Ｙ	ＪＰ　１０－７９７０５　Ａ（富士通株式会社） ２４．３月．１９９８（２４．０３．９８） 全文，全図 ＆　ＧＢ　２３１６８２１　Ａ　＆　ＵＳ　５９２６２９７　Ａ	1,2,8
Ｙ	佐野明秀他，プリチャープと分散マネジメントにより ＳＰＭ／ＸＰＭを抑圧した４０Ｇｂｉｔ／ｓ／ｃｈ　WDM伝送， 電子情報通信学会技術研究報告，光通信システム， 電子情報通信学会，１６．６月．２０００，Ｖｏｌ．１００， Ｎｏ．１２９，ｐ．４９－５４	12